

大阪大学・大学院理学研究科

博士前期課程（宇宙地球科学専攻・第2次募集）入学試験問題

小論文

（2022年10月29日11時00分～12時30分）

次の〔1〕から〔3〕までの3問のうちから2問を選択して解答せよ。各問題に一枚の答案用紙を用いること。問題番号、受験番号を記入し解答せよ。表面だけでは足りない場合は裏面に記入してよい。ただし「裏面に続く」などと表面に明記のこと。

(計算用余白)

(計算用余白)

[1]

力学において、物体がある天体の重力の影響を振り切って無限遠方まで飛び去ることのできる最小の速度を脱出速度という。脱出速度の概念は人工衛星の運動だけでなく、天体物理現象にも応用できる。力学の観点から以下の関連する問いに答えよ。

(1) 人工衛星は打ち上げ時の初速度に対応して様々な軌道をとると考えられる。人工衛星は質点として扱い、地表面から水平に打ち出されるとして、以下の問に答えよ。ただし、空気抵抗は無視でき、地球は球対称で、自転運動は無視できるとする。必要であれば、地球質量 M_{\oplus} 、地球半径 R_{\oplus} 、太陽質量 M_{\odot} 、地球の公転軌道半径 D_{\oplus} 、万有引力定数 G 、光速 c を用いて答えて構わない。

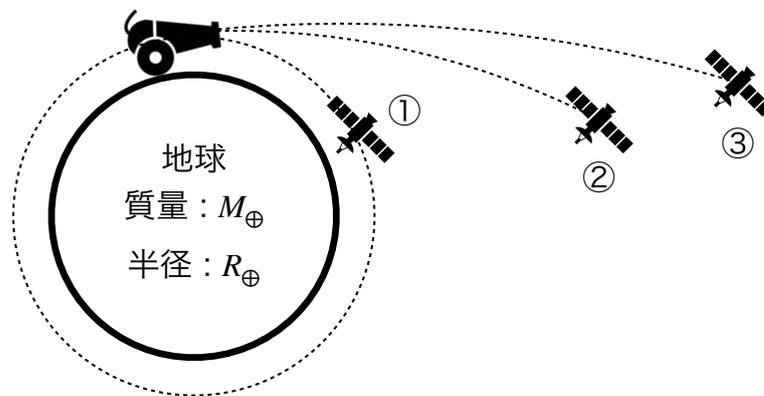


図1 地球から打ち上げられる人工衛星の軌道の概念図。各番号はそれぞれ、①: 第一宇宙速度、②: 第二宇宙速度、③: 第三宇宙速度で打ち上げられた軌道に対応する。

(a) まず人工衛星が地表面スレスレを飛び続ける円軌道を運動する場合を考える (図1の軌道①に対応する)。この運動を実現するために必要な初速度 (第一宇宙速度) を式で表わせ。ただし、地球と人工衛星の間に働く万有引力のみ考える。また、人工衛星の地表からの高度は地球半径と比較して無視できるとしてよい。

(b) $M_{\oplus} = 5.9724 \times 10^{24} \text{ kg}$ 、 $R_{\oplus} = 6.3781 \times 10^6 \text{ m}$ 、 $G = 6.6743 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ のとき、問(a) で求めた第一宇宙速度を有効数字二桁で求めよ。

(c) 次に地球の重力を振り切った運動も考えられる (図1の軌道②に対応する)。この運動を実現するために必要な初速度 (第二宇宙速度) を式で表わせ。ただし、地球と人工衛星の間に働く万有引力のみ考える。

(d) 最後に太陽系の重力をも振り切る運動が考えられる (図1の軌道③に対応する)。この運動を実現するために必要な初速度 (第三宇宙速度) を式で表わせ。ただし、地球は太陽を中心とする円軌道の公転運動をしているとし、地球が公転する向きに人工衛星を打ち上げる。簡単のため、ここでは太陽の重力場のみ考えればよい。

(2) 近年の X 線望遠鏡による観測によって、太陽の百万から数十億倍の質量をもつ巨大ブラックホール天体周辺からほぼ等方的に噴き出すプラズマ流(以下、噴出流)の存在が明らかになっている。噴出流と周囲のガスの運動に関する以下の問に答えよ。噴出流はブラックホール中心からある半径 R_0 離れた球面から一様等方に噴き出すものとする。また、ブラックホールは光速ですら脱出できない天体とし、問 (c) における議論からブラックホールの大きさ (半径 R_s) を定義する。

(e) 噴出流はブラックホールによる重力を振り切って噴き出している。 R_0 における脱出速度を $0.1c$ とするとき、噴出流が噴き出している球面の半径 R_0 を R_s を用いて式で表わせ。ただし、ブラックホールの重力場のみ考える。

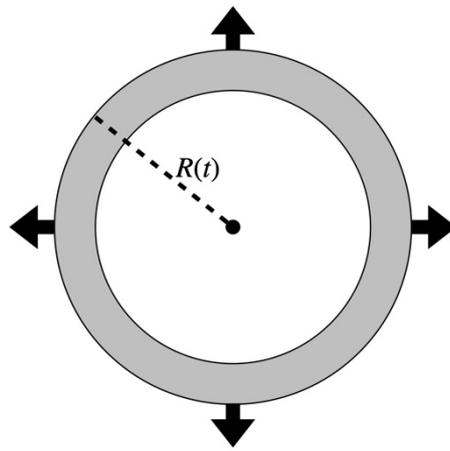


図2 ブラックホール天体から噴き出すプラズマ流(噴出流)に掃き集められる星間ガスの運動の概念図。中心の黒点が噴出流発生領域で、その半径 R_0 は $R(t)$ と比べて無視できる。また、灰色の球殻領域が掃き集められた星間ガスを表す。

(f) 銀河全体に低温低密度の星間ガスが一様に広がっているとす。ここで図2のように、ブラックホールからの噴出流によって、星間ガスは掃き集められながら遠方へと広がっていく。掃き集められる星間ガスが球対称に広がっていく場合の運動の時間発展を考えよう。時刻 $t = 0$ に噴出流が噴き出し始め、以降、半径 R_0 の球面において単位時間あたり L の運動エネルギーをもった噴出流が星間ガスに供給され続けている。

また、掃き集められる前の星間ガスの質量密度は ρ とする。エネルギー散逸過程が無視できるとき、任意の時刻 t ($t > 0$) に噴出流の先端が到達する距離 $R(t)$ を時刻 t の関数として、 L 、 ρ 、 t を用いた式で表せ。ただし、掃き集められる星間ガスの総質量に比べて R_0 で注入される噴出流の質量は十分無視でき、 R_0 は $R(t)$ と比べて十分小さく ($R_0 \ll R(t)$)、 $R_0 = 0$ とみなせるとする。

ヒント： $R(t) = At^\alpha$ とおいてから A と α を求めるとよい。

(g) 噴出流の持続時間を一千万年とした時、噴出流が到達できる距離を求めよ。桁数の評価でよい。また、その距離スケールは宇宙における構成要素（惑星・恒星・銀河・銀河団など）のどの程度のスケールに該当し、どのような影響が期待されるかについても 2-3 行程度で論ぜよ。ただし、 $L = 10^{38} \text{ J s}^{-1}$ 、 $\rho = 1.67 \times 10^{-21} \text{ kg m}^{-3}$ とする。

(計算用余白)

[2]

以下の設問(1)-(4)より2問を選択し解答せよ。選択した設問番号は解答用紙に明記すること。

- (1) 惑星がその表層で吸収する太陽からの放射エネルギーと、惑星が宇宙空間へ射出する放射エネルギーとのエネルギー収支が釣り合うことにより、惑星表層で定常的な温度(平衡温度)が実現する。このことに関して以下の問(a)から(d)に答えよ。表1の物理パラメータのうち必要なものを用いてよい。ここで、電磁波の輻射は等方的に生じ、単位面積・単位時間あたりの輻射エネルギー I は黒体に対するステファン・ボルツマンの法則 ($I = \sigma T^4$) に従うものとする。また、太陽-惑星間は真空とし、電磁波の吸収・散乱はその領域で生じないとする。惑星は太陽を中心とする円軌道を描くものとする。太陽および惑星は完全な球体とする。惑星の自転により、全球に平均的に日照が当たるとする。
- (a) 太陽表面全体から単位時間あたりに放射されるエネルギー S_{\odot} を式で表せ。
- (b) 太陽からの放射エネルギーについて、惑星上において単位面積・単位時間あたりに受けるエネルギー F を式で表せ。
- (c) 惑星の平衡温度 T_{eq} を式で表せ。
- (d) 表面温度と平衡温度の差が地球の場合と比較して著しく異なる太陽系惑星を1つ挙げ、そのずれの理由を1行程度で記述せよ。

表1

ステファン・ボルツマン定数	σ
太陽の表面温度	T_{\odot}
太陽半径	R_{\odot}
惑星半径	r
惑星の公転半径	d
太陽放射エネルギーの惑星表面での反射率	α

- (2) 固体の結晶構造に関する以下の問に答えよ。
- (a) 直方晶系(=斜方晶系)および六方晶系について、それぞれの結晶構造の特徴および鉱物の例を一つ挙げよ。解答は単位格子の各辺の長さ a 、 b 、 c 、および各辺の間の角度 α 、 β 、 γ を用い、括弧内の立方晶系の例にならって記すこと。
(例 $a = b = c$ 、 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ 、ダイヤモンド)。
- (b) 立方晶系におけるミラー指数(112)の示す面を作図せよ。
- (c) 立方晶系に属する単元素固体の質量密度を 格子定数 a 、原子量 M 、アボガドロ数 N_A を用いて表せ。ただし、必要に応じて不足するパラメータを適宜使用してよい。

(3) 以下の問に答えよ。

- (a) 太陽大気元素組成を推定する際に用いられている方法について、括弧内のキーワードを用い5行程度で説明せよ。(フラウンホーファー線、エネルギー準位)。
- (b) CI コンドライトが他のコンドライト隕石と比べて、より始原的とされる理由について2行程度で説明せよ。
- (c) 地震学的に観測される二つの不連続面に対応していると考えられているマントルの主要鉱物の相転移について、それらの深さと、相転移前後の鉱物名および化学式をそれぞれ記述せよ。

(4) 以下の問に答えよ。

- (a) 地球史を通じて、地表全体が凍結するほどの激しい氷期がかつて複数回存在していたと考えられている。この全球凍結を支持する地質学的証拠を2行程度で答えよ。
- (b) 付加体とは、海洋プレートの沈み込みに伴う付加作用により形成される地質体である。付加体堆積物は上位であるほど地質年代が古いことがある。層序のこの逆転現象が生じる原因を、付加体の構造の観点から5行程度で説明せよ。
- (c) 東日本と西日本では、沈み込むプレートが異なる。これを反映して両地域の火山活動の特徴にどのような違いがみられるか。それぞれのプレート名の記述を含め、5行程度で説明せよ。

(計算用余白)

[3]

計測に関して以下の問に答えよ。

(1) 地球表層環境で較正された以下の計測装置を火星表層環境で使用したところ、真の値から有意なずれを示した。それぞれの計測装置について、なぜずれを示すのか、真の値に比べて計測値が高く表示されるか低く表示されるかも含めて1~2行程度で説明せよ。問題に示されていない仮定が必要なら適切に定義したうえでその定義を明記せよ。

- (a) 質量測定用バネばかり
- (b) 分銅を用いて質量をはかる天秤ばかり
- (c) 超音波距離計（超音波を発射し、超音波が物体に当たって戻ってくるまでの時間を計測することで距離を表示する装置）
- (d) レーザー距離計（レーザー光線を発射し、レーザー光が物体に当たって戻ってくるまでの時間を計測することで距離を表示する装置）
- (e) 二酸化炭素濃度計（近赤外光の吸収で濃度を表示する装置）
- (f) プロペラ式風速計（プロペラを取り付けたモーターの発電量で風速を表示する装置）

火星環境は以下（温暖期）とする	
表面重力	3.71 m/s ²
大気圧	0.7 kPa
気温	290 K
大気構成	
二酸化炭素	95.3%
窒素	2.7%
アルゴン	1.6%

(2) 無重量環境の国際宇宙ステーションの中にいる。目の前に、おおよそ1kgほどありそうな剛体が浮かんでいる。この剛体の質量を国際宇宙ステーションの中で測定する方法を3つ考えて、その測定原理をそれぞれ2~3行程度で答えよ。図や数式を用いても良い。道具や素材は国際宇宙ステーションの中になんでもそろっていると仮定して良い。

(3) あなたの専門分野で使用している計測装置、あるいは、あなたが関心のある計測装置の中から一つを選び、その測定原理について図や数式を用いて詳しく説明せよ。